



网络理论导论

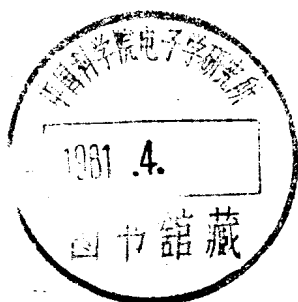
北京邮电学院·南京邮电学院 编

人民邮电出版社

51.25
163

网 络 理 论 导 论

北 京 邮 电 学 院
南 京 邮 电 学 院 编



人 民 邮 电 出 版 社

1109250

内 容 提 要

本书介绍了当前电信网络常用的一些基本理论与网络分析、综合设计的方法。全书共分十章，其中前五章介绍了网络学基本知识和无源网络分析和综合内容；并讨论了可以利用无源网络实现的网络函数的性质及其综合方法，网络特性的逼近函数；第六章为滤波器的图表法设计；第七章为影象参数及古典的影象参数滤波器；第八章为均衡技术；第九章为时域的分析与综合方法；第十章为有源网络的实现方法。

本书可作为工科院校通信专业或无线电技术专业的试用教材，也可供从事通信技术工作的读者作参考。

网 络 理 论 导 论

北京邮电学院
南京邮电学院
编

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1980年5月第 一 版
印张：25 16/32页数：408 1980年5月河北第一次印刷
字数：590 千字 插页：2 印数：1—12,400 册

统一书号：15045·总2373—有5158

定价：2.35 元

前 言

分析一个网络的特性，设计一个高质量的网络是通信技术中常见的课题。过去这些课题多是根据影像参数的理论，从分析单个的简单的网络入手，用积木式拼凑的方式，把简单的网络按影像阻抗匹配级联成复杂的网络。实现网络的元件也只限于无源元件。

解决网络课题的另一个途径是从实际工作情况的工作参数出发，把传输特性的要求用网络物理上能够实现的数学式来表达，然后用网络实现之。这方面的理论过去我们较少涉及。

上述两个途径是解决网络课题的两个相辅相成的部分。而后者把问题归结为一个严格的数学模型，它更能阐明网络的内在的规律。用它来分析网络，不但能够定性地，而且能够定量地说明网络的特性，用它来综合网络，可以使网络更能接近于理想的特性，而元件数用得最省。此外，由于它把问题归结为一个数学模型，描述网络特性的网络函数一定具有规格化的表达式，实现网络的方法，也有对应的格式，不像过去那样就事论事地去处理问题了。从这方面讲，似乎后一途径具有一定的优越性。在过去由于数学用得较多，计算量较大而较少使用这一方法，而现在由于电子计算机的普及解决了计算问题，可以

列入议事日程，因此本书用了较大篇幅来介绍这一部分的内容。然而并不等于已经废除了用影像参数去处理网络，这不但是由于实践中还在应用，而且从理论上也有其特定价值。影像参数法的缺点是有许多网络很难做到特性阻抗匹配，但某些定阻型均衡网络就完全能够办到。因此，我们仍把这一方面的内容编入本书。

网络实现只局限于用无源元件实现是不尽合理的，当前生产中已经突破了这一限制。有源网络也正是利用了逼近传输特性的网络函数的成果，只是在物理实现的器件方面采用了有源器件。目前有源网络的实现大多采用积木块级联方法，在这一点上又和第一个解决问题的途径相类似。

本书可以作为工科院校通信专业或无线电技术专业三年级教学的试用教材。这时他们已经具备了线性代数、复变函数、运算微积和信号与电路分析的相关知识，书中将经常引用之。在学习过程中，读者会发现网络函数将具有简单的有理分式的形式，而函数的零点和极点对于网络特性关系密切。给出了所有的零极点，就可以推断出网络特性。反之，零极点也是网络综合的重要工具。由于我们需要作出描述网络特性并且能够用网络物理实现的网络函数，因此必需探讨网络函数的性质，其中函数的“正实性”是判别物理上可以实现的准则。希望读者掌握这些重要概念，灵活应用，才能全面地深入地了解综合理论和方法。在综合方法方面，为了使读者便于掌握，我们只介绍几种常用方法，没有作很多介绍。

《网络理论》和许多学科都有密切的关系，它的理论在许多领域都在引用。当前这一门学科的理论已渐臻完善，但涉及的面很广。我们希望本书能够介绍其基础理论知识，但又能结合实际，解决几个具体问题。如果读者在阅读本书以后，能够

解决网络本身的问题，并且能够开拓到其它学科领域，这就是本书作者所希望达到的目的之一。

参加本书编写的南京邮电学院教师有欧阳珉（绪论和第九章），奚柏青（第八章）；北京邮电学院教师有颜绍书（第一、二、三、四、五章），黄一成（第六、七章和第三章部分初稿），李远文（第九章初稿和第十章），全书最后由欧阳珉、颜绍书审订。在本书编写过程中王德隽同志提供了宝贵意见。

由于编者水平所限，审编时间仓促，难免有不当或错误之处，希望读者不吝指正。

1979年6月

目 录

绪论	(1)
第一章 网络函数	(8)
1—1 复频率与复平面的概念	(8)
1—2 网络函数	(18)
1—3 S 域零极点分析	(40)
1—4 网络频率特性的表示方法	(69)
1—5 网络函数的实部与虚部的关系	(82)
第二章 单端对网络	(98)
2—1 单端对网络的特性	(99)
2—2 两类元件单端对网络的特性	(116)
2—3 两类元件单端对网络的实现	(135)
2—4 $RLCM$ 单端对网络的实现	(161)
2—5 单端对网络的等效和倒量	(188)
附录2—A 用斯丹姆定理来检验正实条件 b''	(200)
第三章 无源二端对网络	(206)
3—1 二端对网络的概念和常用结构	(206)
3—2 二端对网络的传输方程式和参数	(209)
3—3 二端对网络的联接	(228)
3—4 常见二端对网络的参数	(238)
3—5 二端对网络的等效	(250)
3—6 二端对网络参数的性质	(261)
3—7 转移函数的性质	(273)

3—8	梯形网络的传输零点	(284)
3—9	二端对网络的工作传输函数、反射函数和特征函数	(291)
第四章	二端对网络的实现	(302)
4—1	单端电阻 LC 梯形网络的实现	(302)
4—2	双端电阻 LC 梯形网络的实现	(322)
4—3	定阻网络的实现	(346)
4—4	预畸的概念	(353)
第五章	滤波器指标的近似	(359)
5—1	引言	(359)
5—2	归一化	(364)
5—3	近似课题	(373)
5—4	勃脱华兹近似	(378)
5—5	契比雪夫近似	(387)
5—6	任意阻带指标的近似	(400)
5—7	贝塞尔近似函数	(407)
第六章	利用图表设计滤波器	(417)
6—1	图表介绍	(417)
6—2	低通滤波器设计	(422)
6—3	频率变换	(428)
6—4	高通、带通和带阻滤波器设计	(446)
6—5	耦合谐振器带通滤波器	(462)
附表6—A	最平幅度滤波器元件表	(489)
附表6—B	契比雪夫滤波器元件表	(490)
附表6—C—1	三阶柯尔型滤波器数据表	(494)
附表6—C—2	四阶柯尔 b 型滤波器数据表	(496)
附表6—C—3	四阶柯尔 c 型滤波器数据表	(500)

附表6—C—4	五阶柯尔型滤波器数据表	(502)
附表6—C—5	六阶柯尔 b 型滤波器数据表	(505)
附表6—C—6	六阶柯尔 c 型滤波器数据表	(509)
附表6—C—7	七阶柯尔型滤波器数据表	(511)
附表6—D	契比雪夫型滤波器 k 、 q 表(3dB)...	(515)
第七章	特性参数、特性参数滤波器	(517)
7—1	特性参数	(517)
7—2	二端对网络的匹配链接及常用二端对网络的特性参数	(527)
7—3	中分定理	(534)
7—4	工作传输常数与特性参数之间的关系	(541)
7—5	特性参数滤波器的传通条件	(543)
7—6	K 式低通滤波器	(548)
7—7	m 导出型低通滤波器	(555)
7—8	特性参数滤波器图表、复合滤波器	(567)
7—9	特性参数低通滤波器的样板法设计	(571)
7—10	特性参数少电感带通滤波器简介	(587)
附录7—A		(591)
附表7—1~7—4	低通、高通、对称带通、带阻滤波器基本节	(595)
第八章	均衡网络	(601)
8—1	信号的不失真条件	(601)
8—2	群时延	(603)
8—3	各种典型滤波器群时延特性的比较	(605)
8—4	二阶时延均衡器的基本特性	(606)
8—5	固定时延均衡器设计举例	(614)

8—6	幅度均衡器的作用	(620)
8—7	幅度均衡器的常用结构及其特性	(622)
8—8	幅度均衡器设计举例	(626)
8—9	幅度时延均衡中存在的问题	(631)
附录8—A	最佳参数 α_n 及 $\Delta\omega$ 的确定	(634)
第九章	时域响应与时域综合	(642)
9—1	时域分析方法的复习	(642)
9—2	阶跃脉冲通过低通滤波器的响应	(646)
9—3	单位脉冲通过低通滤波器的响应	(654)
9—4	时域综合	(666)
附表9—1	拉氏变换简表	(677)
第十章	有源滤波器和均衡器	(678)
10—1	引言	(678)
10—2	有源元件概述	(683)
10—3	有源RC滤波器基本节函数及其电路	(707)
10—4	灵敏度	(730)
10—5	低灵敏度的双二次节	(745)
•10—6	有源滤波器设计	(758)
10—7	低灵敏度有源滤波器实现	(771)
10—8	有源均衡器	(785)
附录10—A	RC:CR变换	(806)

绪 论

为了说明本书内容梗概，先引入信号与系统两个基本概念。

一、信号与系统

什么是信号？信号是用某种物理量表示的消息。例如扬声器里发出的语言或音乐的声波，雷达的荧光屏上出现的表示飞机位置的光点，数字计算机中表示某一个二进位数码的电压脉冲序列，在压强计上表示气压的读数等等。所有这些，统统都是信号。

消息可以用不同的信号方式来表示。它可以是电信号，也可以是光信号，也可以是某一仪表的读数。究竟采用哪一种方式较好，要取决于工程上的经济条件和表达消息的准确可靠性。这个问题在本书中并不涉及，因为它属于《信息论》课程的范畴。但是，可以这样说，由于实际工作的需要，往往把某种方式的输入信号，通过一些器件转换为另一种方式的信号。这些转换器件的集合，称为系统。例如，由晶体管、电阻、电容、电感等组成的晶体管放大器，就是一个系统。这个系统把输入的电信号转换为输出的电信号，使其相对大小发生了变化。又如，光透镜也可以组成一个系统（例如照像机），它把输入的光信号转换为另一种光信号。通信里用的传真机也是一个系统，它把表示消息的文字或图象通过光的系统转换为光的强弱，再通过光电转换设备，把光转换为电信号的强弱变化，因此传真机的发送部分是一个光—电转换系统。我们把电信号

• 1 •

1109250

从甲地传输到乙地，中间经过了许多机线设备，这些机线设备，也是一个系统。

一个系统的输入信号和输出信号可以不止一个。例如某一个节目的电视转播，输入的有图象的光信号和声音的信号，输出的转播设备可以很多，这就是多个输入和输出的例子。为方便起见，我们把各个不同的系统用一个方框表示，如图0—1—1(a)所示，图中用带箭头的线表示输入或输出，图(a)有三个输入两个输出0—1—1(b)表示只有一个输入一个输出的系统。如果是电信号，输入和输出往往是电压和电流，我们用一对线表示一个输入或输出。图0—1—1(c)有三端对输入二端对输出，称多端对网络。图0—1—1(d)只有一端对输入和一段对输出，称二端对网络。

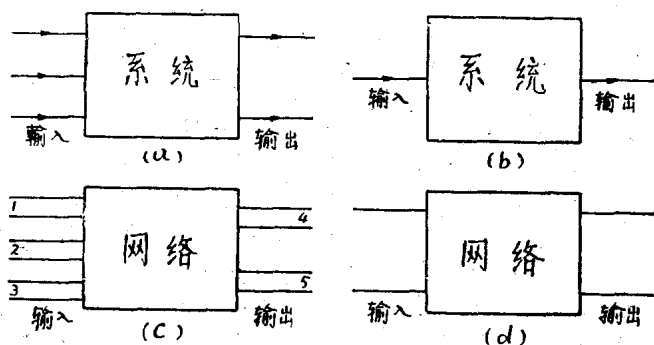


图 0-1-1

一个复杂的系统是由许多简单的个别的系统通过各种不同的联接方式组成的。例如卫星地面站包括天线系统，通信系统，计算机系统，显示设备，以及其它许多分系统组成。从便于设计和制作一个大的系统出发，我们往往把各个小系统当作积木块。此外，从便于分析和维护出发，我们也希望把一个复杂系统分解为许多比较简单的系统。因此，我们对于图0—1—

1(b)的系统比较感兴趣, 把它当作分析复杂问题的基础。对电信号来说, 本书着重讨论在输入电信号的激励下, 二端对网络的输出响应。

二、连续与离散信号, 连续与离散系统

所谓连续信号与离散信号, 是指信号的时间函数来说的。如果信号在一定的时间范围内的每一时刻(个别不连续点除外)都有确定的值, 则这个信号称为连续信号。收音机里听到的信号或音乐是连续信号。又如

$$x(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \cos \omega_0 t, & t > 0 \end{cases}$$

也是连续信号, 如图 0-2-1 所示。这里必须指出, 连续信号并不意味着不包含不连续点。例如图 0-2-2 的锯齿信号 $x(t)$, 当 $t = t_0, 2t_0, \dots$ 时, 函数的左极限不等于右极限, 为不连续点; 但这个信号仍然是连续信号。

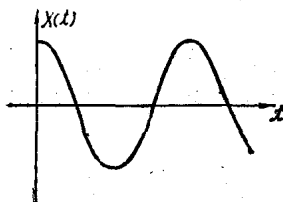


图 0-2-1

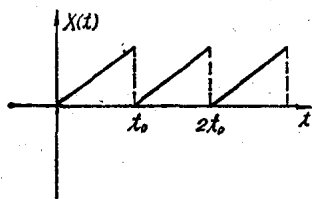


图 0-2-2

如果在一个时间范围内的一些离散时刻上有确定的值, 除了这些离散的点以外, 函数值都等于零, 则我们称这一信号为离散的。图 0-2-3 举出一个离散信号的例子。在实际生活中, 离散信号的例子是很多的。电视机荧光屏上出现的图象实际是由于一些离散的光点组成的。今后离散信号的应用会更多地出现在各个领域。例如要测量一台正在经常运转的机器的某个物

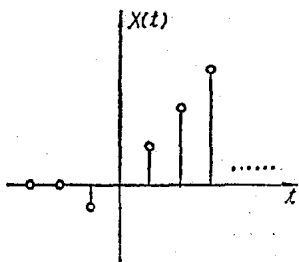


图 0-2-3

理量的数值，我们可以定期地在各个离散时刻抽样测量这个物理量的数值。只要离散时刻的点子取得足够稠密，离散点的数值也是可以反映这个物理量的连续变化的情况的。

对于一个系统来说，如果输入信号是连续信号，输出也是连续信号，则我们称这个系统是连续的。如果输入信号是离散的，输出也是离散的，则这个系统是离散的。

如果输入信号是连续的，而输出信号是离散的，则称这个系统是混合的。连续系统我们已经见得很多了，譬如说，一大机接收到连续的电信号，输出连续的声波信号。我们举一个离散系统的例子。数字计算机从凿孔纸带或卡片上读到脉冲序列作为输入信号，通过运算以后，把数字序列打印出来，这就是离散系统。

《网络理论》课程是来阐述连续与离散系统的内在规律的。但本书只分析连续系统。对于离散系统，则在其它课程中讨论。

三、时不变的线性系统

如果在一个系统中，输入激励为 $x(t)$ ，输出响应为 $y(t)$ 。假设把输入信号延迟一段时间 τ ，输入信号为 $x(t-\tau)$ ，而输出响应也相应地延迟相同时间 τ ，成为 $y(t-\tau)$ ，则称这个系统为时不变的系统。反之，如果输入延迟了时间 τ ，输出延迟不等于 $y(t-\tau)$ ，响应关系变化了，则称此系统为时变系统。要求一个系统是时不变的，则构成系统的各个部件应该都不随时间

变化。由于晶体管、电阻、电容等元件的特性都可能渐趋老化，因此严格说来，由这些元件组成的网络是时变的。可是这个元件特性老化的过程很慢，如果略去这一老化的因素，则网络可以近似地认为是时不变的。

最后，我们引入线性系统的概念。

如果系统的输入为 $x(t)$ ，输出为 $y(t)$ 。假如把输入乘以 a ，即 $ax(t)$ ，得到输出为 $ay(t)$ ，则我们称这一系统为均匀的。

如果系统的输入为 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 时，对应的输出分别为 $y_1(t)$ 与 $y_2(t)$ 。假如把输入相加，成为 $x_1(t)+x_2(t)$ ，得到输出为 $y_1(t)+y_2(t)$ ，则我们称这一系统为可加的。

如果一个系统同时是均匀可加的，则我们称这一系统为线性的。即当输入为 $a_1x_1(t)+a_2x_2(t)$ 时，输出为 $a_1y_1(t)+a_2y_2(t)$ ，则这一系统为线性的。

在这一本书里，我们只研究时不变的线性系统。这是由于对这样的系统有很多的数学工具可供应用，而且实际工作中遇到的许多系统或者本身就是线性的时不变的系统，或者可以近似地看作是这样的系统的缘故。

四、分析与综合

我们研究系统有两个方法，即分析与综合。分析与综合实际上是处理事物的两种方法，它们是相辅相成的。所谓分析，即根据具体情况进行具体分析。对于系统分析来说，通常事先给定一个系统，即给定这个系统包括了哪几个部件，这些部件是怎样组合的以及每个部件的功能受哪些物理定律所制约。然后通过计算，进行分析，以预测在规定的激励的情况下，系统会出现什么样的响应。所谓综合问题则刚好与分析问题相

反，通常先给定一个系统应具备的特性，而要导出具备这个预给特性的系统。

在本书中，我们将讨论网络的分析与综合。这里所指的网络，是指由有限个元件组成的，时不变的线性网络，网络分析即给定网络构成的元件以及联接的方式，以及外接的电源的条件下，求网络的响应。反之，网络综合的命题就是：假设给定某种激励和响应，要求我们决定一个网络，即决定这个网络的所有元件及其联接方式，使这个网络具有预给的激励—响应特性。

对于激励—响应特性而言，也有两个方面的问题。一个是给定输入信号的时间函数，作为给定的系统的激励，求输出响应的的时间函数。这就是时域的分析问题。或者是给定输入和输出的时间信号，来决定一个系统，这就是时域的综合问题。另一个是给定输入信号的频率特性和系统，求输出信号的频谱，这就是频域的分析问题。或者是给定输入和输出信号的频率特性，求能够实现的网络，这就是频域的综合问题。时域和频域的问题似乎是截然不同的问题，但是它们是紧密相关的。因为根据频谱分析的原理，利用富里哀级数、富里哀变换或拉氏变换作为工具（或其它工具），可以从时域函数求出频域函数，或者从频域函数反过来求出时间函数。这就是所谓变换与反变换的问题。从物理现象来说，一个信号的时间函数的波形对应着有确定的频率成份；改变了这些频率成份（改变这些频率成份的幅度和相位），也就改变了波形。信号的时间函数与频率函数是一一对应的。从这一点出发，只要解决问题方便，我们可以自由选择从频域或从时域出发来研究网络问题，有时也可以两种方法同时采用。例如，在数字滤波器中，就有这样的处理方法。但是，在本书中，主要从频域来处理问题，即研究的对

象为幅度频率特性、相位频率特性（或时延频率特性）问题。

五、本书内容概要

本书共分十章。第一章用分析的方法，引入了网络函数，并讨论了零点极点对于网络特性的影响。第二章为单端对网络。本章讨论了可以用无源线性网络实现的网络函数的基本属性问题，它是网络综合的基础。在这个基础上，介绍了单端对网络的综合实现方法。第三章为无源二端对网络。本章先介绍了二端对网络的各种参数，然后讨论了能够无源实现的二端对网络的参数应该具备的条件。第四章为二端对网络的综合实现方法，只着重介绍了梯形展开实现方法。第五章是根据给定的技术要求，求逼近于这些要求的可以网络实现的网络函数问题。第六章是滤波器的图表法设计。第七章为影像参数和影像参数滤波器。用影像参数设计滤波器的方法是比较古老的方法，但当前许多场合仍在应用。第八章介绍了群时延均衡器和幅度均衡器的均衡技术。第九章简要地介绍了时域分析和综合问题。第十章为有源滤波器和有源均衡器。由于篇幅所限，以上内容不可能深入广泛地探讨，只对具有典型性的问题作扼要的介绍；此外，许多问题，例如网络的最优化设计以及数字滤波器等课题均未涉及。